

О.Ю. ШВЕЦЬ

Київський національний торговельно-економічний університет

ГЕНЕЗИС ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИХІДНИХ СПОЛУК БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН

У роботі проаналізовано вітчизняний досвід у виборі мінералу як однокомпонентної сировини для виробництва волокон; розглянуто походження та сутність базальту; визначено основні властивості розплавів базальтових гірських порід.

Ключові слова: *магматичні гірські породи, базальт, розплав, базальтові волокна.*

Технічний прогрес викликає необхідність створення матеріалів малої об'ємної маси, з високими фільтруючими та поглинальними властивостями, здатних витримувати вплив високих температур. Цим вимогам у значній мірі відповідають різні види базальтових волокон, які на відміну від скляних можуть зберігати робочий стан за температури 600°C та вище.

Відомо, що у ряді країн Західної Європи запроваджено виробництво базальтових волокон. Однак, мінералогічний та хімічний склади застосованих там базальтів не є оптимальними, що в свою чергу впливає на властивості волокон, які з них виробляються.

Враховуючи, що базальтові волокна, виготовлені з базальтів вітчизняних родовищ, мають високі показники функціональних властивостей, проблема вибору найбільш придатних розплавів мінеральних порід для виробництва різних видів волокон є актуальною.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом даного дослідження є мінерал – базальт, який використовується як однокомпонентна сировина для виробництва базальтових волокон. Для цього дослідження було обрано аналітичний огляд літературних джерел, що допоможе проаналізувати існуючий досвід у цій сфері та сприяти відбору найбільш придатних мінеральних порід для виробництва різного виду базальтових волокон.

Постановка завдання

Метою дослідження є вибір найбільш придатних мінералів для виробництва волокон за мінералогічним та хімічним складом, умовами плавкості та властивостями їх розплавів.

Результати та їх обговорення

Сировиною для виробництва базальтових волокон, а в подальшому – текстильних полотен з базальтових волокон, є магматична гірська порода – базальт. Магматичні гірські породи за походженням належать до первинних, тому що утворюються безпосередньо з магми.

Магма – тістоподібна розплавлена маса силікатного складу, яка містить гази, пар, воду, гарячі водні розчини. Внаслідок рухів земної кори магма може переміщуватися ближче до поверхні Землі. Підійняті з надр у земну кору або вилиті на її поверхню розплавлені маси (магма) застигають і утворюють магматичні гірські породи. Якщо магма застигає на глибині, то породи, що утворюються тут при повільному застиганні та під високим тиском, називають інтрузивними (глибинними, або плутонічними). Коли магма-лава виливається на поверхню Землі і твердне в умовах низького тиску і температури, то утворюються ефузивні (вилівні, або вулканічні) магматичні породи. Інтрузивні й ефузивні магматичні породи різняться між собою будовою та умовами залягання.

Розглянемо ефузивні магматичні породи детальніше, оскільки базальт належить саме до останніх.

Ефузивні магматичні породи. У разі виливання магми на поверхню Землі у вигляді лави вона швидко охолоджується і кристали утворитися не встигають. Тому ці породи утворюють суцільні аморфні або прихованокристалічні маси. Вони мають наступні види структури:

- склувата (афонітова) – зерна непомітні навіть у лупу; це аморфна маса з раковистим зломом;
- порфірова – на фоні дрібнозернистої, щільної або аморфної маси добре видно окремі великі кристали.

Для ефузивних порід характерні наступні види текстури:

- пориста – зумовлена виділенням газів під час застигання лави (пемза, ліпарит, андезит);
- ніздрювата – зумовлена виділенням газів під час застигання лави (базальт);
- мигдалекам'яна – утворюється в разі заповнення порожнин мінеральною речовиною (базальт);
- флюїдальна – кристали витягнуті в напрямі течії лави (ліпарит);
- масивна – кристали розташовані по всій масі породи без певної закономірності (обсидіан).

Ефузивні магматичні породи залягають у наступних формах (рис. 1):

- потоки – заповнені застиглою лавою, подовжені негативні форми рельєфу (1);
- покриви – виникають у разі великих виливів базальтових лав і займають величезні площі (десятки тисяч квадратних кілометрів, наприклад, Середньосибірське плоскогір'я) (2);
- куполи – в'язка гранітна лава, що виливається із жерла вулкана, не розтікається, а утворює куполоподібне підвищення (3).

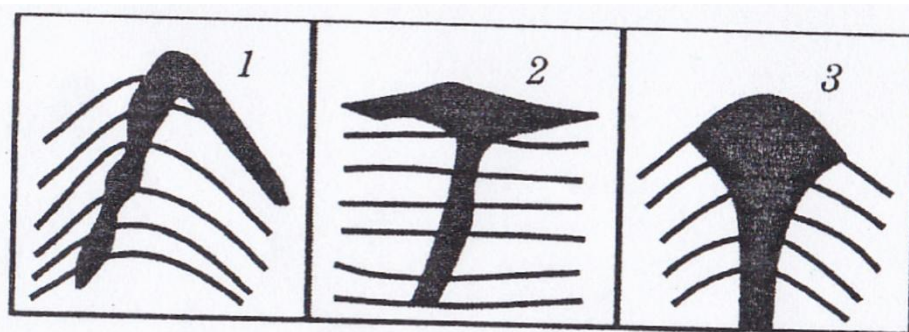


Рис. 1. Форми залягання ефузивних магматичних гірських порід [1]

В основі класифікації магматичних гірських порід лежить їх хімічний та мінералогічний склад.

Хімічний склад дає уявлення про те, з яких елементів складається та чи інша порода і які їх кількісні співвідношення. Мінералогічний склад відбиває характер природних сполук цих елементів.

Основними компонентами магматичних порід є дев'ять елементів: O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, H.

Хімічний склад гірських порід показують у формі відсоткового складу оксидів. Сума основних оксидів SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, MgO, CaO, Na_2O , K_2O та H_2O досягає приблизно 98% маси всіх магматичних порід; сума TiO_2 , MnO, CO_2 та P_2O_5 – близько 1,5%; сірка та хлор – близько 0,2%. Усі інші елементи таблиці Менделєєва становлять менше 0,3%.

У природі не знайдено магматичних порід, які мають менше, ніж 24%, і більше, як 80%, SiO_2 кремнезему [1].

Важливою ознакою для характеристики магматичних порід є вміст у них силікатної кислоти. За ступенем насичення магматичних порід кремнеземом їх поділяють на:

- ультракислі ($\text{SiO}_2 \geq 75\%$);
- кислі (65–75%);
- середні (52–65%);
- основні (45–52%);
- ультраосновні ($\text{SiO}_2 \leq 45\%$).

До головних породоутворюючих мінералів належать польові шпати, кварц, слюди, оливін, піроксени, амфіболи, фельдшпатити. До другорядних, або акцесорних (їх вміст незначний), належать апатит, флюорит, рудні мінерали. За забарвленням головні мінерали поділяють на кольорові (амфіболи, оливін, піроксени, біотит) і безколірні (польові шпати, кварц, фельдшпати).

Мінерали кварц і оливін є індикаторами кислотності та основності порід. Разом вони не зустрічаються. Наявність кварцу дає підставу віднести породи до кислих (в разі його малого вмісту – до середніх), при відсутності кварцу і незначній кількості оливину – до основних. При наявності значної кількості оливину породи відносять до ультраосновних.

Класифікацію магматичних гірських порід із зазначенням місця у цій класифікації базальту наведено у табл. 1.

З інфузивних магматичних порід найпоширенішими є граніти, з ефузивних – базальти.

Базальти, як правило, залягають на поверхні Землі. Проте вони можуть бути занурені під осадові породи, якщо земна кора опускалася внаслідок тектонічних процесів [2].

Назва «базальт» імовірно походить від ефіопського «база» – той, що містить залізо [1].

Базальт – найпоширеніший ефузивний аналог габро, має прихованокристалічну породу.

Структура базальту дрібнозерниста або склувата з порфіровими вкрапленнями кристалів основного плагіоклазу, авгіту, оливину, рогової обманки, магнетиту.

Текстура мінералу щільна або ніздрювата, мигдалекам'яна. Ця порода мінералу схильна утворювати характерні стовпчасті п'яти-шестигранні, рідше – плитчасті відокремленості, наприклад, високі базальтові стовпи у Рівненській області. Колір базальту темно-сірий, чорний, а внаслідок вивітрювання стає іржаво-бурим або темно-зеленим.

Базальт твердий, важкий, жорсткий на дотик, у зламі – дрібнозернистий.

Залягає, утворюючи величезні лавові потоки та покриви [2].

Формування мінеральних ресурсів України, зокрема й базальту як корисної копалини, прямо пов'язане з особливостями геологічної будови Землі.

За сучасним уявленням, формування покладів базальтів України, наприклад, базальтів Рівненщини, припадає на найдавнішу геологічну еру – архейську, що тривала протягом 1,4 млрд. р. і змінилася протерозойською ерою (ерою первинного життя), яка тривала близько 2 млрд. р. (ці дві ери часто об'єднують під єдиною назвою докембрій (табл. 2).

Таблиця 1. Класифікація магматичних гірських порід [2]

| Ступінь кислотності, вміст SiO_2 | Забарвлення | Інтрузивні породи | Ефузивні породи | Мінеральний склад |
|--|------------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Кислі, $\text{SiO}_2 \geq 65\%$ | Світле | Граніт | Ліпарит Обсидіан | Кварц, ортоклаз, слюда, рогова обманка, рідше авгіт |
| Середні $\text{SiO}_2 = 52 \dots 65\%$ | Сіре | Сієніт Діорит | Трахіт Андезит | Ортоклаз, мікроклін, рогова обманка, рідше біотит, авгіт Плагіоклаз середній, рогова обманка, рідше біотит, авгіт |
| Основні $\text{SiO}_2 = 40 \dots 52\%$ | Темне до чорного | Габро Лабрадорит | Базальт, діабаз | Плагіоклаз основний (лабрадор), авгіт, оливін, рідше біотит, рогова обманка Лабрадор |
| Ультраосновні $\text{SiO}_2 \leq 40\%$ | Чорне, темно-зелене | Перидотит, дуніт | Пікрити | Оливін, авгіт |

Зрозуміло, що у табл. 2 наведена лише частина з основних етапів геологічної історії, початок геохронологічної шкали, на який припадає час формування базальтів, проте всі корисні копалини України генетично пов'язані з докембрійським утворенням Українського щита.

Таблиця 2. Основні геологічні події та формування основних родовищ корисних копалин [3]

| Вікові межі, млн. років тому | Ера | Основні події в історії органічного світу | Основні геологічні події та формування основних родовищ корисних копалин |
|---------------------------------|------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 550 | Протерозой PR | Поява багатоклітинних організмів | Базальти Рівненщини. Формування Українського щита. Залізні руди Криворізько- Кременчуцького та Білозерсько-Конкського басейнів. Нікель, мрамур, графіт, титан, каоліни, лицювальні природні камені |
| 2700 | Архей AR | Бактерії, одноклітинні | |
| 4600 | | | |

Варто зазначити, що протягом всієї геологічної історії Землі на формування базальтів поряд з внутрішніми (ендогенними) процесами – магматизм, метаморфізм, тектонічні рухи – помітну роль відіграли зовнішні (екзогенні) сили (дія сонця, вітру, поверхневих вод, моря, льодовиків) [3].

У разі вивітрювання базальтів із плагіоклазів утворюються глинисті мінерали і карбонати; оливін перетворюється на серпентин, карбонати, лимоніт.

За латеритного типу вивітрювання з базальтів утворюються боксити і лимоніт [2].

Взаємодія ендегенних та екзогенних процесів, що зумовлює специфічні риси у розвитку основних тектонічних структур земної кори, яскраво проявляється через єдину систему кругообігу мінеральної речовини, на різних етапах якого формуються ті чи інші види мінеральних утворень (в тому числі й базальтів, рис. 2).

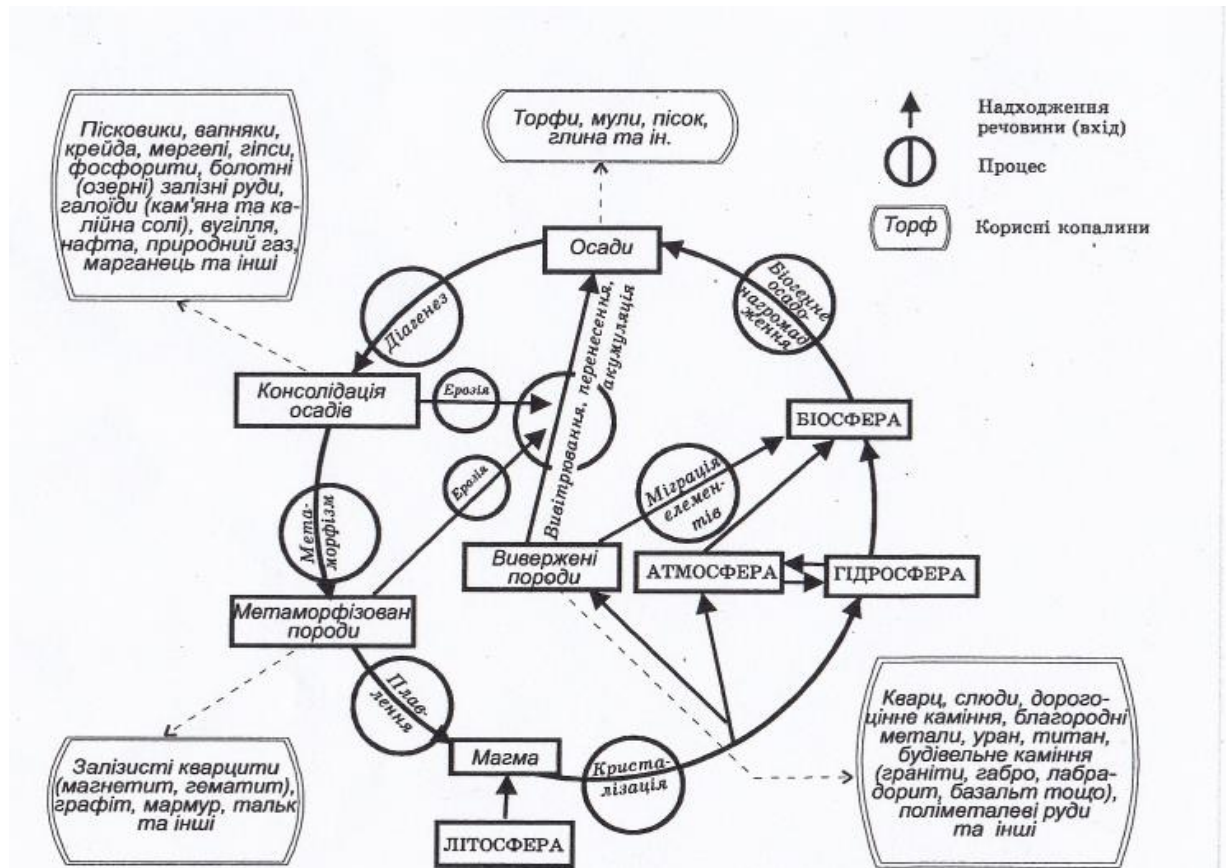


Рис. 2. Схема кругообігу мінеральної речовини у літосфері (за Я. Демеком) [3]

Запаси базальту України посідають провідне місце в Європі (61310 тис. м³ базальту перебуває у відкритих родовищах, близько 33107 тис. м³ базальту містять у собі родовища, які перебувають у розробці) [4].

Основні родовища базальтів зосереджені на території Рівненщини (Яноводолинське, Берестовецьке та ін.), а також виявлені у Донецькій (Волноваське родовище), Дніпропетровській (Криворізьке) та інших областях України [3].

Технологія видобування базальту традиційно визначена фізичним станом мінеральної речовини (твердий) та може відбуватися двома способами – відкритим (кар'єрним) і підземним (шахтним). В Україні базальти видобувають відкритим способом, який є пріоритетним серед інших.

Детальні роботи з дослідження мінеральних порід та визначення їх придатності для виробництва різного призначення базальтових волокон були проведені Державним Підприємством «Науково-технологічний центр «Базальтоволоконні матеріали» (НТЦ «Бавома», Україна, м. Київ). Згідно з результатами досліджень понад 500 родовищ у різних регіонах світу НТЦ «Бавома» запропонував рекомендації щодо використання мінеральних порід для виробництва базальтового волокна (табл. 3).

Таблиця 3. Хімічний склад гірських порід, що придатні як однокомпонентні сполуки для
виробництва волокон різного призначення [5]

| Найменування компонентів | Масова частка, % | | | |
|---|------------------|-------------|-----------------|------------------------------|
| | Грубі волокна | Непереривні | Тонкі штапельні | Супертонкі, штапельні, грубі |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Діоксид кремнію (SiO_2) | 48,0 – 53,0 | 47,5 – 55,0 | 43,0 – 51,0 | 46,0 – 52,0 |
| Діоксид титану (TiO_2) | 0,5 – 2,0 | 0,2 – 2,0 | 0,2 – 3,0 | 0,5 – 2,5 |
| Оксид алюмінію (Al_2O_3) | 13,0 – 18,0 | 14,0 – 20,0 | 10,0 – 17,0 | 13,0 – 18,0 |
| Оксиди заліза ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) | 8,0 – 15,0 | 7,0 – 13,5 | 10,0 – 18,0 | 8,0 – 15,0 |
| Оксид кальцію (CaO) | 6,5 – 11,0 | 7,0 – 11,0 | 8,0 – 13,0 | 6,05 – 11,0 |
| Оксид магнію (MgO) | 3,0 – 10,0 | 3,0 – 8,5 | 4,0 – 15,0 | 3,5 – 10,0 |
| Оксид натрію та калію ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) | 2,0 – 7,5 | 2,5 – 7,5 | 2,0 – 5,0 | 2,0 – 7,5 |
| Оксид мангану (MnO), не більше | 0,5 | 0,25 | 0,4 | 0,5 |
| Оксид сірки (SO_3), не більше | 1,0 | 0,2 | 1,0 | 0,5 |
| Втрати маси під час прожарювання, не більше | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Вільного кварцу, не більше | 3,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 |
| Модуль в'язкості | 1,9 – 2,5 | 2,3 – 2,7 | 1,7 – 2,0 | 1,8 – 2,4 |

В основу критеріїв придатності мінералів для отримання волокон покладено вимоги за мінералогічним та хімічним складом гірських порід, умови плавкості та властивості їх розплавів (табл. 4).

Таблиця 4. Мінералогічний склад гірських порід, що придатні як однокомпонентна сировина для виробництва волокон різного призначення [5]

| Мінерали | Граничний вміст мінералів, об. % | | |
|---------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| | Для тонких штапельних волокон | Для супертонких штапельних волокон | Для неперервних волокон |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Плагіоклаз | 20 – 55 | 20 – 55 | 35 – 70 |
| Піроксени | 0 – 45 | 5 – 40 | 1 – 35 |
| Рудні | 0 – 12 | 0 – 12 | 0 – 12 |
| Олівіни | 0 – 15 | 0 – 15 | 0 – 15 |
| Скло природне | 0 – 25 | 2 – 45 | 0 – 50 |
| Кварц | 0 – 2 | 0 – 2 | 0 – од.зн. |
| Амфіболи | 0 – 30 | 0 – 15 | 0 – 10 |
| Біотит | 0 – 2 | 0 – 3 | 0 – 3 |
| Палагоніт | 0 – 20 | 0 – 20 | 0 – 25 |
| Хлорит | 0 – 35 | 0 – 35 | 0 – 35 |
| Епідот-цоїзит | 0 – 10 | 0 – 15 | 0 – 5 |
| Карбонат | 0 – 15 | 0 – 10 | 0 – 8 |

Фізико-хімічні властивості розплавів гірських порід за умови їх достатньої однорідності та гомогенності, залежать від концентрації та співвідношення головних розплавоутворюючих оксидів. Найбільш важливими фізико-хімічними показниками розплавів є в'язкість та температура верхньої межі кристалізації.

В'язкість розплавів гірських порід залежить від хімічного складу, що служить вихідним базисом для підрахунку кислотно-лужних показників, які характеризують структурні особливості системи.

Деякі властивості розплавів гірських порід, що придатні для виробництва базальтових волокон, наведено у табл. 5 [5].

Таблиця 5. Властивості розплавів базальтових гірських порід [5]

| Показники | Значення характеристик |
|--|------------------------|
| 1 | 2 |
| Температура плавлення, °C | 1100 - 1450 |
| Температура верхньої межі кристалізації, °C | 1200 - 1310 |
| Крайовий кут змочування розплавом платино-родієвим сплавом, °C | |
| за 1350 °C | 5 – 8 |
| за 1250 °C | 15 – 30 |
| Густина розплаву, кг/м ³ | |
| за 1450 °C | 2300 – 2600 |
| за 1300 °C | 2400 - 2700 |
| Питомий електричний опір, Ом·м | |
| - за 1450 °C | 0,4 – 0,5 |
| - за 1300 °C | 0,5 – 0,65 |
| Модуль пружності, ГПа | |
| за 1450 °C | 16,9 – 25,4 |
| за 1300 °C | |
| Поверхневий натяг, мН·м | |
| за 1450 °C | 350 – 410 |
| за 1300 °C | 400 - 500 |
| Зсувна в'язкість, дПа·с | |
| за 1450 °C | 10 – 150 |
| за 1300 °C | 70 - 1000 |
| Об'ємна в'язкість, Па·с | |
| за 1450 °C | 30 - 1500 |
| за 1300 °C | |
| Адіабатична стисливість, Па·с ⁻¹ | |
| за 1450 °C | 1,5 – 6,0 |
| за 1300 °C | |
| Теплоємність, Дж/кг·K | 1300 – 1400 |
| Енергія активації в'язкої течії, не більше, кДж/моль | 310 |
| Вільна ентальпія активації, кДж/моль | 180 – 220 |
| Ентропія активації, Дж/моль·K | 30 – 40 |

Найбільш важливими, з точки зору вченого, властивостям розплавів базальту, які визначають метод формування волокна, були присвячені досліді к.т.н. Дубровського В. А. [6]. До зазначених вище властивостей Дубровський В. А. відніс в'язкість розплаву, швидкість його охолодження, поверхневий натяг, кристалізацію та змочування.

В'язкість розчинів визначалась за методом Маргуліса та Воляровича, верхня межа кристалізації – методом «загартування», поверхневий натяг – за способом Асланової.

Дослідженню підлягали розплави базальтів України. Результати досліджень з визначення властивостей даних розплавів наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Властивості розплавів базальту родовищ України

| Розплав основної гірської породи | Родовище | В'язкість, н·сек/м ² , за температури °С | | | | Температура верхньої межі кристалізації | Поверхневий натяг, дин/см, за температури °С | |
|----------------------------------|-------------------------------|--|------|------|------|---|--|------|
| | | 1400 | 1350 | 1300 | 1250 | | 1300 | 1350 |
| Базальт | Янова Долина, Рівненська обл. | 7,4 | 11,7 | 18,0 | 34,8 | 1250 °С | 354 | 352 |
| | Хайна – Чохрак, Донецька обл. | 5,1 | 5,7 | 6,3 | 8,9 | 1215 °С | 354 | 352 |

Згідно з даними, наведеними в табл. 6. найменша в'язкість притаманна розплаву базальту родовища Хайна-Чохрак, а найбільша – родовища Янова Долина. Температура верхньої межі кристалізації розплавів базальтів різних родовищ дещо відмінна та знаходиться у межах 1215 – 1250°С. Незважаючи на відмінні хімічні склади, базальтові розплави мають близькі показники поверхневого натягу (354 дин/см за температури 1300°С; 352 дин/см за 1350°С).

Висновки

Проведений пошуковий аналіз досліджень свідчить про доцільність використання базальтів вітчизняних родовищ як придатних мінералів для виробництва базальтових волокон. Існує реальна можливість подальшого розширення асортименту та збільшення обсягів виробництва базальтових волокон та текстильних полотен спеціального призначення на їх основі. Для визначення оптимального методу виробництва планується провести ряд досліджень, які будуть висвітлені у наступних роботах.

Список використаної літератури

1. Бездрабко М.І. Мінералогія і петрографія/ М.І. Бездрабко, Ю.М. Філоненко, О. Г. Мордвінов. – Ніжин : Видавництво НДПУ ім. Гоголя, 2003. – 43 с.
2. Тихоненко Д.Г. Геологія з основами мінералогії / Д.Г. Тихоненко, В.В. Дегтярьов, М.А. Шуковський, А.Г. Язикова, Л.Л. Величко, В.С. Тарара. – К. : Вища освіта, 2003. – 287 с.

3. Коротун І.М. Природні ресурси України / І.М. Коротун, Л.К. Коротун, С.І. Коротун. – Рівне, 2000. – 192 с.
4. Украинский гранит. – Режим доступа: <http://belaya-rus.deal.by/a4007-ukrainskij-granit.html>.
5. Обзор рынка армирующих изделий и материалов из непрерывного базальтового волокна в России. – Режим доступа: www.infomine.ru
6. Дубровский В. А. Волокнистые материалы из базальтов Украины / В.А. Дубровский, А.А. Мясников, А.И. Рожанский. – К. : Издательство «Техніка», 1971. – 62 с.

Стаття надійшла до редакції 13.02.2013

Генезис свойств исходных соединений базальтовых волокон

Швец А. Ю.

Киевский национальный торгово-экономический университет

В работе проанализировано отечественный опыт выбора минерала как однокомпонентного сырья для производства базальтовых волокон; рассмотрено происхождение и сущность базальта; определены основные свойства расплавов базальтовых горных пород.

Ключевые слова: магматические горные породы, базальт, расплав, базальтовые волокна.

Genesis of basalt fibers parent compound properties

A. Shvets

Kiev National University of Trade and Economics

The article provides the analysis of domestic experience in choosing a single-component mineral raw materials for the fibers production; review of the origin and nature of basalt; definition of the molten basalt rock basic properties.

Keywords: igneous rocks, basalt, melt, basalt fiber.